



УКРАЇНА

(19) UA (11) 53708 (13) U
(51) МПК
H02M 3/337 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ РЕЗОНАНСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

1

2

(21) u201005981

(22) 18.05.2010

(24) 11.10.2010

(46) 11.10.2010, Бюл.№ 19, 2010 р.

(72) ПАВЛОВ ГЕННАДІЙ ВІКТОРОВИЧ, ОБРУБОВ
АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, ПОКРОВСЬКИЙ МИХАЙ-
ЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ, НІКІТИНА ОЛЕНА ВОЛО-
ДИМИРІВНА, ЩЕРБІНІН ТИМОФІЙ ВОЛОДИМИ-
РОВИЧ

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕ-
БУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

(57) Система управління резонансним перетворю-
вачем постійної напруги, яка містить мікроконтро-
лер з підключеними послідовно до його портів
аналоговими масштабуючими підсилювачами сиг-

налів від датчиків, стартовим одновібратором та двома ТТ-тригерами для генерації сигналів синхронізації драйверів силових ключів моста інвертора, яка **відрізняється** тим, що до виходів ТТ-тригерів послідовно підключено додаткову схему з елементів логічної інверсії, кон'юнкції та виключного "АБО", причому елемент інверсії підключено послідовно до виходу другого ТТ-тригера, перший елемент кон'юнкції підключено до виходів першого та другого ТТ-тригерів, другий елемент кон'юнкції підключено до виходів першого ТТ-тригера та елемента інверсії, елементи виключного "АБО" підключені до виходів елементів кон'юнкції та керуючого виводу мікроконтролера.

Корисна модель відноситься до перетворювальної техніки в галузі електрообладнання, зокрема до систем управління резонансними перетворювачами постійної напруги, та може бути застосована для регулювання вихідних параметрів резонансних перетворювачів у різноманітних перетворювальних системах.

Відомо про загальні принципи побудови системи управління резонансним перетворювачем (РП), яка реалізує релейний принцип регулювання [Патент на корисну модель UA №45315 H02M3/22, бюл. №21, 10.11.2009]. Описана система містить мікроконтролер, пристрій синхронізації управління з переходом резонансного струму через нуль та піковий детектор для відслідковування перевищень резонансним струмом припустимої амплітуди. Однак дана система здійснює регулювання вихідних параметрів шляхом чергування лише двох описаних типів елементарних алгоритмів комутації ключів: прямої передачі енергії від джерела до навантаження та розсіювання енергії, накопиченої в резонансному контурі. Рекуперація енергії до джерела залишається практично не реалізованою.

Найбільш близькою до запропонованого технічного рішення є система управління послідовно-резонансним перетворювачем на базі мікроконтролера АТМедіаБ фірми Atmel [Покровский М.В. Система управления последовательно-

резонансным преобразователем с интегральным регулированием выходного напряжения / Е.В. Никитина, Д.Б. Исаков, Лю Цзи // Электротехника і електромеханіка: Матеріали НТК студ., асп., мол. вчених з міжнар.уч.. - 2005. - С 177-181.]. Описана система містить мікроконтролер з підключеними послідовно до його портів аналоговими масштабуючими підсилювачами сигналів від датчиків, стартовим одновібратором та двома ТТ-тригерами для генерації сигналів синхронізації драйверів силових ключів моста інвертора. Дана система також не забезпечує можливості рекуперації енергії до джерела, але є зручною для відповідної модифікації, а тому обрана як прототип.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення мікроконтролерної системи управління резонансним перетворювачем (РП) постійної напруги, в якій шляхом введення в контури генерації керуючих сигналів для драйверів силових ключів мосту інвертора додаткових елементів логічної інверсії, кон'юнкції та виключного «АБО» забезпечується можливість рекуперації енергії від резонансного контуру та навантаження до джерела, за рахунок чого досягається заощадження близько 10 % споживаної енергії.

Поставлена задача вирішується тим, що у системі управління резонансним перетворювачем постійної напруги, яка містить мікроконтролер з підключеними послідовно до його портів аналого-

(13) U
(11) 53708
(19) UA

вими масштабуючими підсилювачами сигналів від датчиків, стартовим одинівбратором та двома ТТ-тригерами для генерації сигналів синхронізації драйверів силових ключів моста інвертора, згідно з пропозицією, до виходів ТТ-тригерів послідовно підключено додаткову схему з елементів логічної інверсії, кон'юнкції та виключного «АБО», причому елемент інверсії підключено послідовно до виходу другого ТТ-тригера, перший елемент кон'юнкції підключений до виходів першого та другого ТТ-тригерів, другий елемент кон'юнкції підключений до виходів першого ТТ-тригера та елемента інверсії, елементи виключного «АБО» підключені до виходів елементів кон'юнкції та керуючого виводу мікроконтролера.

Введення додаткових логічних елементів інверсії та кон'юнкції у схему системи управління дозволяє здійснювати перемикання режимів прямої передачі енергії та розсіювання енергії за допомогою лише одного виводу мікроконтролера, а ще один вивід зарезервувати для організації режиму рекуперації. За наявності сигналу високого рівня на обох виводах додаткові логічні елементи «виключне АБО» забезпечують зсув фази генерованих ТТ-тригерами керуючих меандрів на π , що переводить міст інвертора в режим синхронного випрямлення. В даному режимі енергія, накопичена у резонансному контурі та навантаженні, відбирається назад до джерела живлення, що у випадку застосування автономного джерела збільшує термін його роботи, а також дозволяє заощадити близько 10 % споживаної енергії.

На фіг. 1 подано блок-схему перетворювальної системи на основі послідовно-резонансного перетворювача (ПРП) постійної напруги із мікроконтролерною системою управління, на фіг. 2 - принципову електричну схему системи управління, на фіг. 3 подано алгоритм основного циклу роботи мікроконтролера, на фіг. 4 - осцилограми резонансного струму та керуючої напруги для тринадцяти застосувань першого елементарного алгоритму комутації (n_{Fr}) за період перетворення (режим неперервних струмів), на фіг. 5 - осцилограми резонансного струму та керуючої напруги для дев'яти застосувань першого елементарного алгоритму комутації (n_{Fr}) за період перетворення (режим уривчастих струмів).

ПРП із релейним способом регулювання вихідних параметрів у загальному вигляді (фіг. 1) може бути поданий як сукупність силових частини (СЧ) 1 та системи управління (СУ) 2. Силова частина ПРП містить джерело ЕРС 3, підключене до керованого транзисторного моста інвертора 4, резонансного контуру, сформованого послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 5 та резонансної ємності 6 з включеним послідовно датчиком резонансного струму (ДС) 7, підключеного послідовно до транзисторного моста 4 та діодного моста випрямляча 8, фільтруючої ємності 9 та навантаження 10, з'єднаних паралельно, датчика напруги на навантаженні (ДН) 11. Мікроконтролер на СУ 2 містить мікроконтролер 12, пристрій сполучення з СЧ (ПС) із ТТ-тригерами та додатковою логічною схемою 13, блок, що містить піковий детектор (ПД) та детектор переходу резонансного

струму через нуль (НД) 14. Принципова електрична схема блоків 12 та 13 подана на фіг. 2. Вона містить мікроконтролер 12, ТТ-тригер 15, підключений входом даних D послідовно до виходу РС0 мікроконтролера 12, другий ТТ-тригер 16, стартовий одинівбратор 17, підключений входом дозволу роботи В до виходу РС2 мікроконтролера 12, логічний елемент інверсії 18, підключений послідовно до виходу ТТ-тригера 16, двохвходовий логічний елемент «ТА» 19, підключений послідовно до виходів ТТ-тригерів 15 та 16, двохвходовий логічний елемент «ТА» 20, підключений послідовно до виходів ТТ-тригера 15 та елемента інверсії 18, двохвходовий логічний елемент «виключне АБО» 21, підключений послідовно до виходу елемента «ТА» 19 та виходу РС1 мікроконтролера 12, двохвходовий логічний елемент «виключне АБО» 22, підключений послідовно до виходу елемента «ТА» 20 та виходу РС1 мікроконтролера 12, двохвходовий логічний елемент «виключне АБО» 23, підключений послідовно до виходів НД (блок 14 на фіг. 1) та стартового одинівбратора 17, спеціалізовані драйвери силових ключів моста інвертора 24 та 25, підключені входами синхронізації IN до виходів логічних елементів «виключне АБО» 21 та 22 відповідно.

Для експериментального пристрою обрано мікроконтролер ATmega168 сімейства AVR фірми Atmel, в пристрої синхронізації використано 2 ТТ-тригери типу SN74L126 та логічні елементи типу ACH1G фірми Texas Instruments, ПД та НД виконані на компараторах LM 361 фірми National Semiconductor, в мостах застосовані силові IGBT-транзистори типу IRG4BC30UD фірми International Rectifier із зворотними діодами та драйверами в інтегральному виконанні, силові діоди КД29981 (Росія), резонансна ємність набрана з силових конденсаторів КВІ-3 (ООО "ЗВЭК "Прогресс").

Під час роботи перетворювача постійну напругу, яка подається від джерела 3, інвертують на транзисторному мості 4 із підключеним резонансним контуром, утвореним послідовним з'єднанням резонансної індуктивності 5 та резонансної ємності 6 потім випрямляють на діодному мості 8 та згладжують на фільтруючій ємності 9. Згладжену напругу подають на навантаження 10. Аналоговий перетворювач (АЦП) мікроконтролера 12 опрацьовує сигнали уставки напруги $U_{упр}$, значення реальної напруги на навантаженні, яка знімається з датчика 11, та середнього значення резонансного струму, що знімається з датчика 7. Усереднення досягається встановленням відповідної частоти вибірки АЦП. На входи зовнішніх переривань приходять сигнали від блоку ПД та НД 14. Сигнали від керуючих виводів мікроконтролера 12, які відповідають за дозвіл прямої та реверсної фаз перетворення, а також за запуск стартового одинівбратора, поступають до ПС 13, який відповідно до них генерує керуючі імпульси для силових ключів мосту інвертора 4. Основний цикл роботи мікроконтролера 12 наведено в алгоритмі на фіг. 3. При перевищенні напругою на навантаженні уставки напруги мікроконтролер встановлює прапор DSEN (дозвіл фази розсіювання). При досягненні номінальної потужності встановлюється пра-

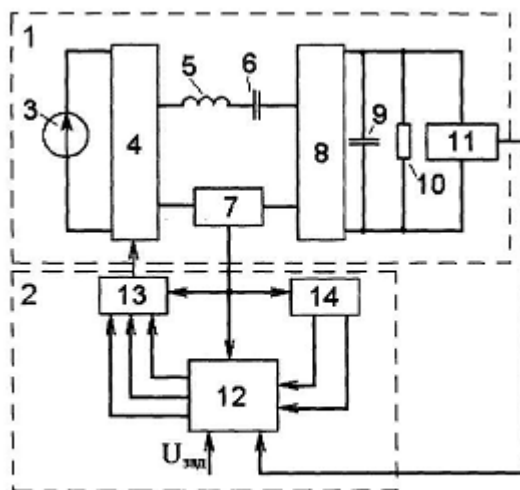
пор RVEN (дозвіл фази рекуперації). Логічні рівні керуючих виводів мікроконтролера 12 PC0 та PC1 пов'язані із прапорами наступними співвідношеннями:

$PC0 = \text{not}(DSEN) \text{ or } RVEN$; $PC1 = DSEN \text{ and } RVEN$.

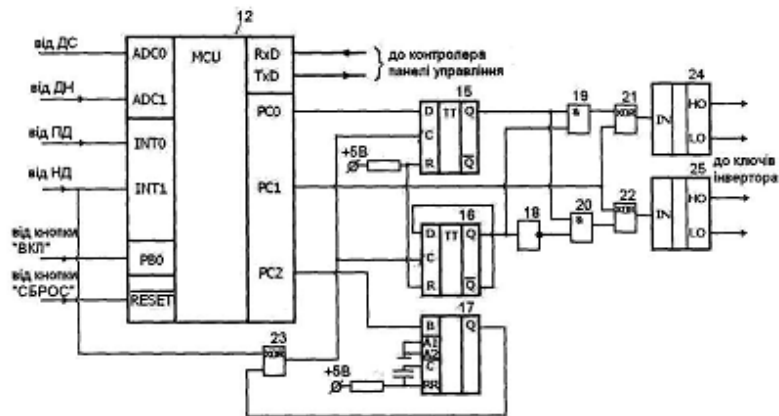
Прапор DSEN також може встановлюватись при зовнішньому перериванні по входу INTO (сигнал від ПД, перевищення амплітудою резонансного струму максимально припустимого значення). Керуючий вивід PC2 відповідає за запуск стартового однофазного 17 на початку роботи перетворювача та у випадку тривалої відсутності сигналів від НД 14. Логічна одиниця на виході PC0 дозволяє перекидання ТТ-тригера 15 за кожним фронтом синхронізуючого імпульсу на вході тригера С ТТ-тригер 16 перекидається незалежно від керуючих сигналів за фронтом синхронізуючих імпульсів. Синхронізуючі імпульси формуються за допомогою елемента «виключне АБО» 23 із вихідних сигналів стартового однофазного 17 та НД 14. За допомогою логічних елементів 18, 19, 20 у прямій фазі формуються протифазні меандри, які поступають на елементи «виключне АБО» 21 та 22. Якщо на виході мікроконтролера 12 PC1 присутня логічна одиниця (дозволено рекуперацію), фази обох меандрів за допомогою елементів 21 та 22 зсуваються на кут π . Сигнали з виходів логічних елементів 21 та 22 поступають на входи синхронізації спеціалізованих драйверів 24 та 25 відповідно. За фронтами даних сигналів здійснюється зміна стану пар транзисторів в мості інвертора 4, яка

у фазах прямої передачі енергії, розсіювання та рекуперації призводить до роботи мосту інвертора 4 в режимі інвертування, замикання резонансного контуру та синхронного випрямлення відповідно. Експериментальний зразок системи керування, побудований на основі мікроконтролера ATMeда168 сімейства AVR, дозволив виконувати комутацію ключів з частотою до 90 кГц. Для підвищення частоти комутації можливо використання двох мікроконтролерів: перший виконує функції керування інвертором, другий - функції обчислення вихідної потужності. На фіг. 3 та фіг. 4 подано експериментальні осцилограми, отримані при наступних параметрах: часова шкала - 20 мкс/поділ., резонансний струм - 5 А/поділ., керуюча напруга - 2,5 В/поділ., загальна кількість півперіодів резонансних коливань за період перетворення - $n=18$. Під час роботи експериментального зразка з автономним джерелом, здатним до накопичення рекуперованої енергії, було встановлено, що застосування реверсного режиму дозволяє збільшити час роботи джерела до повного розряду на 9-11 % порівняно з роботою в режимі «пряма передача - розсіювання».

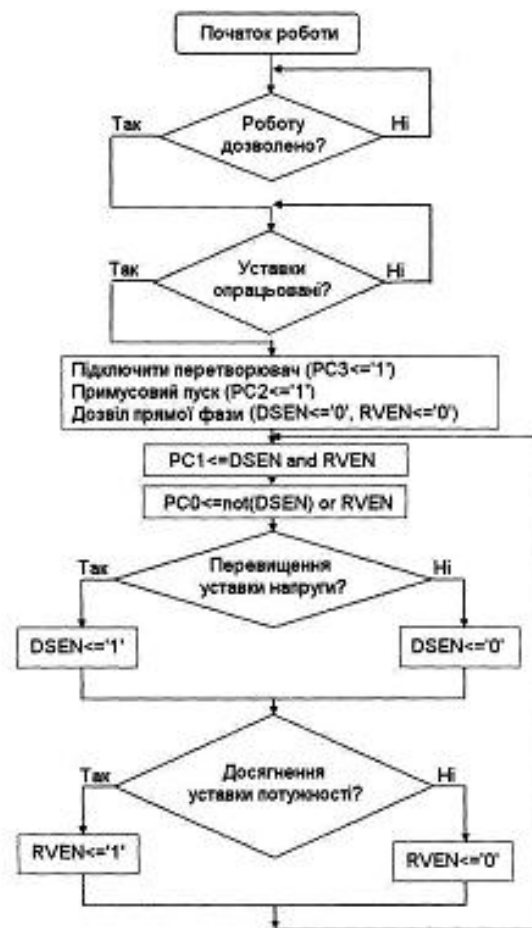
Таким чином, застосування додаткових логічних елементів у системі регулювання вихідних параметрів РП постійної напруги, реалізованої на базі мікроконтролера, дозволяє реалізувати фазу рекуперації енергії резонансного контуру до автономного джерела живлення, що збільшує час роботи джерела, а також дозволяє заощадити близько 10 % споживаної енергії.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

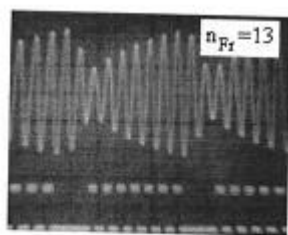


Fig. 4

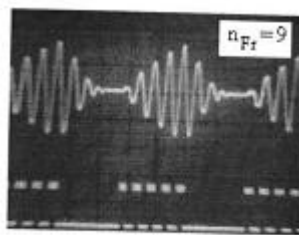


Fig. 5